

Chapitre 6 : Auto-apprentissage tutoré dans un contexte d'APProj^{67,68}

"Les objectifs d'une formation universitaire ne peuvent pas se réduire à doter un étudiant d'un bagage mythique de connaissances qui lui suffirait tout au long de sa carrière professionnelle. Elle doit de plus attacher une grande importance au développement de l'autonomie dans l'apprentissage, au développement du sens critique par rapport aux connaissances enseignées et à la créativité⁶⁹."

C'est, entre autres, en ces termes que le doyen de la faculté des sciences appliquées de l'UCL plaide pour une modification des programmes d'études en candidatures, en janvier 1999. Après de nombreux débats et recherches, l'ensemble de la faculté décide d'orienter son action vers une pédagogie plus active, centrée sur l'étudiant, qui démarrera en septembre 2000. En voici les grandes lignes et la manière dont le cours de DAO a pu s'y intégrer.

1 Les grandes lignes du nouveau projet pédagogique⁷⁰

Plusieurs constats ont poussé une équipe d'enseignants de la faculté à s'interroger sur le curriculum proposé, pour la formation des ingénieurs. Parmi ceux-ci notons :

- la passivité et le manque de motivation affichés par les étudiants;
- leur individualisme;
- leur effort au travail limité dans le temps, à la période de "blocus", et donc leur engagement dans les études limité à la réussite des examens;

⁶⁷ Une présentation partielle des résultats de ce chapitre a fait l'objet d'une communication lors du 19^{ème} colloque de l'AIPU, en mai 2002 à Louvain-la-Neuve, intitulé "Les méthodes actives dans l'enseignement supérieur".

⁶⁸ APProj : Apprentissage Par Projets.

⁶⁹ Trullemans, C., (1999), Pourquoi modifier le programme de candidatures FSA ?, Document Interne, UCL.

⁷⁰ Ces informations sont extraites de documents disponibles uniquement sur l'intranet de l'UCL.

- l'attente constante de consignes bien balisées (les célèbres "tuyaux") permettant la seule réussite de ces examens;
- la foi dans la vérité des syllabi trahissant un esprit peu critique;
- le manque de liens qu'établissent les étudiants entre les différentes disciplines enseignées;
- le manque de durabilité des acquis.

Du côté des entreprises aussi, des demandes plus précises sont formulées en termes de compétences non techniques. Les étudiants sont diplômés sur base d'un ensemble de connaissances qu'ils ont eu l'occasion d'acquérir (ou du moins d'aborder à défaut de les avoir acquises), mais il n'est nulle part fait état des compétences de savoir-être ou de savoir-faire, qu'ils devraient aussi pouvoir mettre en évidence, dans leur curriculum. Ces compétences, non directement propres à une discipline mais bien transversales, sont, par exemple, leur capacité à communiquer, coopérer, prendre des initiatives, faire preuve d'autonomie, se documenter, etc. Elles renvoient aujourd'hui à ce que d'aucuns regroupent sous le vocable "d'employabilité" et font l'objet de larges débats en Europe (Knight & Yorke, 2002).

Nous reprenons ci-dessous un résumé des principes pédagogiques qui ont été retenus et souhaités par les promoteurs de la réforme mise en place. Ils sont donc présentés tels qu'ils ont été annoncés dans les documents officiels ou traduits dans les documents qui présentent le programme. Dans certains cas, nous ajoutons également les propositions qui ont été faites pour l'opérationnalisation de ces principes.

1.1 Les principes pédagogiques

Les programmes traditionnels sont construits sur un schéma simple, où les deux premières années sont principalement consacrées à l'acquisition de connaissances scientifiques fondamentales, dans le cadre de problèmes soigneusement préparés. Or la faculté, en cela encouragée par le monde industriel et ne se satisfaisant plus de ce schéma simplifié, estime devoir offrir une formation plus étendue aux futurs ingénieurs. En effet, dans le contexte actuel, la formation doit être dispensée au contact de la recherche, en profondeur, ouverte à de nombreux domaines, orientée par les nécessités de la vie professionnelle, animée par une exigence de qualité et attentive à la formation de la personnalité.

Une pédagogie active centrée sur l'étudiant

L'enseignement doit être regardé comme la mise à disposition de l'étudiant, d'occasions propices où il puisse apprendre, développer une attitude active et s'investir personnellement. Le rôle de l'enseignant y est principalement de soulever des questions, de proposer des situations qui stimulent l'apprentissage et non de transférer des réponses. Les cours magistraux restent intégrés dans la formation et ont pour but de permettre une acquisition rapide de nouveaux concepts ou méthodes et de permettre une structuration et une généralisation des connaissances acquises par ailleurs.

Les approches pédagogiques, choisies selon les nouveaux besoins, répondent à certains critères, conformément aux caractéristiques globales des méthodes actives (Lebrun, 1999) dont notamment le fait qu'elles :

- sont ancrées dans un contexte actuel, ayant un sens en rapport avec le niveau et les objectifs du programme;
- mobilisent des compétences de haut niveau stratégique;
- s'appuient sur des interactions entre étudiants et/ou enseignants;
- nécessitent un travail personnel étalé durant toute l'année;
- conduisent à une production personnelle;
- offrent un large éventail de ressources (bibliothèques, consultances, réseaux informatiques, laboratoires).

Un programme défini en terme d'objectifs et de compétences

Le cahier des charges, pour les candidatures FSA, est établi en termes d'objectifs et de compétences à atteindre par les étudiants, à l'issue des deux premières années de formation, réparties en six trimestres. Il précise les objectifs généraux de la formation. Le programme doit ainsi décrire les actions ou les performances que les étudiants seront capables de réaliser à l'issue des cours. Cela permet de choisir uniquement des méthodes d'apprentissage aptes à faire atteindre les objectifs visés et d'établir une relation directe entre les objectifs et l'évaluation.

Le développement de capacités méthodologiques transversales

L'apprentissage d'outils n'est pas toujours coordonné et, souvent, le temps requis à leur maîtrise ne fait pas partie du calcul de la charge horaire de l'étudiant. La prise en compte des objectifs de type "Méthodes" et "Outils" vise à faire acquérir à l'étudiant l'ensemble des compétences, et des attitudes génériques (c'est-à-dire

transversales aux champs disciplinaires) jugées nécessaires pour mener à bien les études d'ingénieur civil et pour entreprendre une carrière professionnelle.

Les "outils" génériques sont, par exemple : le maniement d'un poste de travail informatique, de l'Internet, de logiciels professionnels de calcul, de dessin, de bureautique, l'utilisation de langues étrangères, ... Les principes sous-jacents à cet apprentissage sont que la maîtrise des outils génériques s'acquiert par la pratique, dans le cadre d'activités motivantes où l'outil s'impose de lui-même. Son évaluation se fait à l'occasion d'activités qui en font usage. Cependant, cette maîtrise s'acquiert graduellement au fil des études. Il importe, de ce fait, de fixer des objectifs réalistes, à chaque étape du curriculum.

Les "méthodes" transversales ont trait, par exemple, à la résolution de problèmes, au travail coopératif et individuel, à la communication, à l'auto-réflexion, ... Elles se rapportent principalement à des objectifs de niveaux personnels.

1.2 Les dispositifs pédagogiques

Le projet pédagogique trimestriel

Les objectifs de chaque trimestre sont exprimés en termes d'acquisition de connaissances et de compétences par les étudiants. Les formules pédagogiques variées (enseignement magistral, travaux pratiques, apprentissage par problèmes, apprentissage par projets, auto-apprentissage) sont choisies par les équipes pluridisciplinaires d'enseignants du trimestre, en fonction de leur efficacité, comme support de l'apprentissage et en fonction du temps et des ressources disponibles.

A chaque trimestre, est associé un thème, à l'intérieur duquel une grande partie des activités du trimestre prennent leur sens. Ce thème établit un cadre d'application intégrant plusieurs matières et oriente une large part des apprentissages. Il est concrétisé par un projet proposé aux étudiants chaque trimestre et a pour but de stimuler la curiosité, l'intérêt et l'implication des étudiants. Il est la ligne conductrice de l'ensemble des apprentissages disciplinaires et méthodologiques. L'ensemble des projets proposés à l'intérieur des six thèmes trimestriels (répartis sur les deux premières années de formation) fait intervenir toutes les matières du programme.

La formation prise en charge au sein de petits groupes d'étudiants

Le travail en groupe est au centre de l'apprentissage par projet et par problèmes. En effet, intégré au sein du processus d'apprentissage, le groupe a pour but d'aider chaque étudiant qui le constitue à atteindre les différents objectifs annoncés.

Les équipes (de six à huit étudiants) sont établies par trimestre. Pratiquement, les étudiants se réunissent en séances de travail, dans un local qui leur est réservé, pour déterminer ensemble ce qu'il faut connaître pour progresser, et pour se communiquer ce qu'ils ont appris, suite à la séance précédente. Entre les séances de travail, les étudiants, en sous-groupes et/ou individuellement, travaillent en utilisant toutes les ressources disponibles. Le fonctionnement du groupe est facilité par l'intervention d'un tuteur qui donne une approche professionnelle au niveau méthodologique et oriente les étudiants vers des personnes-ressources, en fonction des problèmes soulevés.

Le rôle de l'évaluation des apprentissages des étudiants

L'évaluation crédible des performances des étudiants nécessite qu'elle s'intègre, à part entière, dans leur processus d'apprentissage. Les modalités d'évaluation se doivent donc d'être construites en réponse aux objectifs du programme et sont pour cela du ressort du projet pédagogique de chaque équipe trimestrielle d'enseignants. L'évaluation est de deux types : l'un à caractère formatif (deux évaluations au cours de chaque trimestre) et l'autre sommative (évaluation du projet présenté à un jury et des examens classiques).

Cette nouvelle réforme est présentée comme une réforme pédagogique *en profondeur*. En effet, l'autonomie des étudiants doit être accrue; la multidisciplinarité est très encouragée; la stimulation du travail en groupe devrait réduire l'esprit d'individualisme; l'auto-critique et l'auto-évaluation deviendraient des réflexes. Dans ce nouveau contexte, comment évolue le cours de DAO ?

2 Le DAO dans le contexte de la réforme : les choix pédagogiques

La maîtrise du DAO fait partie de l'ensemble de ces compétences transversales prévues par la réforme pédagogique et que doivent acquérir les étudiants. En effet, à quoi bon maîtriser le dessin assisté, si ce n'est pour l'utiliser dans une quelconque activité de production. En conséquence de cela, le DAO se verra, évidemment, attribuer un autre statut. C'est à l'intérieur même des projets trimestriels et en

fonction des besoins du moment (le *just in time*) que les étudiants devront atteindre l'ensemble des objectifs énoncés. Le cours ne sera plus étudié de manière isolée mais bien intégrée.

C'est pourquoi, respectant les objectifs⁷¹ généraux de formation et les objectifs de la réforme, le dispositif pédagogique a été revu en profondeur.

Nous présentons ci-dessous les principales modifications qui sont envisagées pour le cours, à partir de septembre 2000. Nous présenterons plus en détail les environnements d'apprentissage et didacticiels qui ont été développés pour la mise en place de ces changements, et dont la conception s'est inspirée de nos expériences précédentes et des principes évoqués dans le chapitre 4.

Par rapport à l'organisation du cours des années précédentes, notons quelques différences essentielles pour l'enseignement du DAO, dans le cadre de la réforme :

- il y a une nette réduction des heures de cours magistraux (50 %) et des séances d'exercices encadrées;
- les étudiants ont naturellement besoin du DAO dans le cadre de leurs projets trimestriels;
- des objectifs supplémentaires sont à atteindre, par rapport à ceux poursuivis les années précédentes (page 31); ils dépendent directement des besoins réalistes des projets (impression de plans, transfert d'informations, ...).

Du côté enseignant, des changements sont aussi à souligner :

- moins d'heures de cours implique le choix d'une autre méthode d'apprentissage;
- le nombre de concepts à enseigner est accru puisque certains projets trimestriels demandent d'aller plus loin, au niveau de l'utilisation d'un système de DAO. Par exemple, les problèmes d'impression étaient peu abordés et très simplifiés auparavant. Ils sont maintenant largement pris en compte. Les notions de blocs d'informations, d'habillage d'un dessin, de rendu réaliste en sont d'autres exemples;

⁷¹ Rappelons que les objectifs du cours de DAO sont décrits en termes d'objectifs mathématiques et techniques, mais aussi en termes méthodologiques et de savoir-être (autonomie, sens de l'analyse, de la critique) qui sont les valeurs ajoutées de l'ingénieur. Ces objectifs sont détaillés dans le chapitre 1.

- le DAO est un outil utilisé par les trois projets de la première année. Ceci a pour conséquence que nous devons nous intégrer dans trois équipes trimestrielles distinctes, comprendre leurs besoins pour pouvoir générer les outils et dispositifs pédagogiques adéquats;
- nous disposons d'AutoCAD[®] version 2000.

La première année de formation se divise en trois trimestres de 11 semaines. Chaque trimestre se voit attribuer un thème principal d'apprentissage, soutenu par la réalisation d'un projet multidisciplinaire. Ces projets sont, par exemple, la conception d'un robot programmé, la réalisation d'un flash électronique, l'analyse des performances d'un système multicorps idéal (quad, side-car, moto, ...) et l'animation virtuelle de celui-ci sous certaines contraintes (saut d'un plan incliné, virages, etc...).

Cette panoplie de sujets de projets nous donne l'occasion de repenser le cours dans son ensemble. Nous nous sommes toujours limités à enseigner le DAO sur quelques exemples d'école, soigneusement choisis pour le type de difficultés qu'ils mettaient en jeu. A présent, nous devons concevoir un cours complet, donnant aux étudiants l'opportunité d'utiliser immédiatement leurs nouveaux acquis, dans un projet de plus grande envergure et surtout davantage proche de la réalité professionnelle.

Sans entrer dans les détails d'organisation de chaque trimestre (ceci est hors du cadre de notre travail), voyons comment y introduire le DAO de manière cohérente.

2.1 Du point de vue du dispositif pédagogique

Le cours de DAO dispensé avant la réforme visait déjà une certaine autonomie des étudiants, surtout au démarrage du processus d'apprentissage, via l'utilisation du "didacticiel 2D". Nous avons fait large écho de cette expérience, précédemment (chapitre 4). La décision de réduction du temps d'encadrement des étudiants, imposée par la réforme, nous pousse tout naturellement à continuer dans cette lignée et donc à nous tourner encore davantage vers une forme d'auto-apprentissage. Nous envisageons, pour ce faire, d'étendre plus largement les phases individuelles d'étude des concepts de base (par exemple, pour l'initiation des concepts 3D surfaces et volumes).

De notre expérience méthodologique décrite au chapitre 5, nous pouvons aussi tirer deux enseignements:

- Le premier nous permet d'affirmer que le travail en groupe, imposé par la réforme pour la réalisation des projets, sera une aide non négligeable pour le partage d'informations entre les étudiants, même s'il n'est pas obligatoire pour le cours de DAO. La coopération sera, pour eux, l'environnement "naturel" de travail.
- Le second nous permet d'affirmer qu'un nombre réduit d'heures encadrées ne sera pas un handicap pour notre enseignement, si celles-ci sont largement consacrées à la restructuration interactive des acquis et à un encadrement dans lequel l'enseignant joue un rôle de tuteur. Nous avons déjà pu démontrer que cette manière de travailler augmente les performances des étudiants, dans le cadre du cours de DAO.

La nécessité du DAO, dans les projets trimestriels, est une excellente occasion d'insérer l'apprentissage du DAO dans un contexte plus proche de la réalité professionnelle. En effet, l'ampleur des sujets abordés par les projets et la manière de gérer l'ensemble des disciplines qui y sont incluses sont une excellente expérience. L'apprentissage par problèmes aurait été une alternative possible. Nous formulons à cet égard deux remarques :

- La représentation d'un dessin à l'échelle "professionnelle" ne se réduit pas à une somme de petits dessins élémentaires. De nombreux concepts n'ont de sens que dans des réalisations de grande envergure. La motivation à les utiliser est une des difficultés que nous avons déjà soulignées (cas de la définition de vues, utilisation de couches, gestion d'un "modèle" et d'un plan "papier", etc.).
- Dans le cadre de la réforme, nous avons noté une diminution importante des heures encadrées pour le cours de DAO. Or, l'approche par problèmes semble plus exigeante quant à l'encadrement. Elle implique un encadrement en trois temps : la donnée du problème généralement de moins grande envergure que le projet, le suivi de la résolution et la restructuration de l'ensemble du problème.

Nous optons donc pour la mise en place d'un dispositif pédagogique basé sur l'auto-apprentissage tutoré inséré dans l'APProj.

La réflexion suivante a porté sur les différentes étapes de l'apprentissage. La volonté d'utiliser le DAO à divers moments et dans des projets de nature différente nous

oblige aussi à nous interroger sur l'importance d'un fil conducteur. Les projets touchent des domaines bien distincts les uns des autres. Il faut donc des outils de dessin 2D, de dessin 3D, de conception de circuits électroniques et d'animation en images virtuelles.

Pour éviter toute dispersion de l'apprentissage dans des logiciels très spécifiques, mais ayant perdu le fondement même du dessin, le choix se porte sur le support d'un seul logiciel de référence, tout au long de la formation. En effet, l'utilisation de logiciels commerciaux dédiés précisément aux applications ne ferait que renforcer l'envie de manipuler différents produits, plutôt que d'en comprendre les principes essentiels. Or, si nous revoyons l'objectif principal du cours, nous devons nous "limiter" à l'étude des concepts qui régissent des logiciels de DAO et ne pas nous focaliser sur l'utilisation de produits spécifiques. La seule manière de répondre à cette exigence est de ne choisir qu'un seul logiciel de référence et s'y tenir, toutes applications confondues. Le logiciel AutoCAD® est choisi pour quelques raisons matérielles simples, déjà citées précédemment (voir page 32).

2.2 Du point de vue des contenus

Les deux aspects mathématiques, que sont l'approche de la géométrie descriptive et l'approche de la géométrie analytique, sont rediscutés, en fonction du temps disponible. Si l'enseignement de la géométrie descriptive est certainement formatif, au niveau de la vision spatiale et du raisonnement graphique, force est d'admettre que cette matière est progressivement devenue obsolète avec l'emploi des ordinateurs (page 23). Nous décidons donc de nous limiter à l'explication des quelques cas où son utilisation apporte une aide, au moment où ceux-ci se présenteront. Les éléments de géométrie analytique seraient idéalement repris dans les nouveaux cours de mathématiques.

A l'inverse, des concepts de DAO supplémentaires seront à aborder dans le nouveau cours : il sera nécessaire, au cours des différents projets, de modéliser, mais surtout d'imprimer des plans et des croquis à insérer dans des rapports, de créer des blocs d'informations, de manipuler les rendus réalistes, de mettre à l'échelle, etc.

Pour aider les étudiants à maîtriser un tel système de manière progressive, nous décidons de créer des environnements de travail et des outils d'auto-apprentissage indépendants, qui se complètent et forment un ensemble cohérent.

3 Outils et environnements

Les projets proposés, les trois premiers trimestres de la formation des étudiants, sont à la fois distincts et complémentaires. Ils sont distincts, car chaque projet trimestriel, sur lequel se greffe un maximum de cours, touche à des domaines très différents. Mais ils sont complémentaires, car l'un ne peut démarrer avant l'autre et les acquis du trimestre précédent sont nécessaires à démarrer le trimestre suivant. Il en est de même pour le cours de DAO, et la gradation retenue est décidée en fonction des projets (Tableau 6).

Tableau 6 : Vue générale des environnements et outils

Projet trimestriel	Environnement DAO	Outils d'aide DAO
Conception et programmation d'un robot mobile (informatique)	Crayon électronique : <i>FIRST</i>	Didacticiel <i>FIRST</i>
Conception et réalisation d'un circuit imprimé (électricité)	Dessin 2D : <i>2D</i> Introduction à la CAO : <i>CIRCUIT</i>	Didacticiel <i>2D</i> Didacticiel <i>CIRCUIT</i>
Modélisation et simulation d'un système multi-corps (mécanique)	Dessin 3D surfaces : <i>3DS</i> Dessin 3D volumes : <i>3DV</i> Validation et animation d'un modèle 3D : <i>ANIMATION</i>	Didacticiel <i>3DS</i> Didacticiel <i>3DV</i>

3.1 Le "crayon électronique"

Dans le cadre de leur premier projet, les étudiants sont amenés à concevoir et programmer un robot mobile et autonome, capable de tracer les lignes des différents jeux pouvant se dérouler sur un terrain de sport.

Qu'il s'agisse de plans 2D ou de vues 3D, les étudiants sont amenés à dessiner les plans de leur futur robot. Et d'un point de vue graphique, l'objectif principal du premier trimestre est clair. Les étudiants doivent principalement apprendre à maîtriser le dessin de "conception", c'est-à-dire le dessin technique de base. Néanmoins, nous décidons de mettre à profit la fin de cette première période pour entamer, avec les étudiants, l'apprentissage du DAO (si nous pouvons l'appeler ainsi, dans ce cas !), en leur donnant la possibilité de s'exercer à dessiner leurs quelques croquis (vues du robot, du terrain de sport, etc.) sur une simple feuille A4, destinée à

être insérée dans leur rapport. Pour ce faire, nous mettons en place un environnement de travail dédié à cette première activité, basé sur AutoCAD® et baptisé *FIRST*. Le but est véritablement de faciliter l'impression et de permettre aux étudiants une première approche d'un outil de DAO très simplifié, pour la manipulation d'entités 2D et des opérations graphiques qui s'y rapportent. Il n'est rien d'autre qu'un *crayon électronique*.

3.1.1 L'environnement *FIRST*

FIRST est une version très allégée d'AutoCAD®, voire même totalement différente. En effet, pour faciliter la première approche (n'étudier que les entités 2D de base et les quelques opérations 2D courantes), le logiciel démarre dans l'environnement "Paper Space", l'espace réservé exclusivement à la préparation de la feuille à imprimer (contrairement au Model Space, espace réservé à la modélisation). Le travail réalisé dans ce mode "Paper Space" est de type "WYSIWYG"⁷². Ceci facilite la représentation, par rapport au travail de "modélisation" qui sera traité plus tard et demande davantage de rigueur. Le passage à l'environnement "Model Space" est rendu impossible pour éviter aux étudiants de gérer, dès le démarrage, la co-existence de deux mondes et les difficultés qui en découlent. Le dessinateur se trouve donc face à une page de format A4 et il y travaille comme il le ferait naturellement sur une feuille de papier (Figure 49, page 251). Il utilise *FIRST* comme s'il disposait d'un crayon électronique. Pas question ici d'entités 3D. Tout se dessine en 2D pur, même les vues axonométriques d'un volume! L'utilisateur n'a pas à se soucier du passage d'un environnement à l'autre. Il reste toutefois en présence d'un réel outil d'aide au dessin, conservant les nombreux avantages de précision et de calcul. En effet, tous les outils de traçage, tels que la copie parallèle, la copie symétrique, l'accrochage à des points particuliers, etc. sont autant d'atouts du système.

Lors de la rédaction de leurs rapports, les étudiants pourront, sans aucune difficulté, insérer leurs dessins et plans, tels qu'ils ont été créés grâce aux possibilités d'exportation ajoutées (fichiers de type *.pdf, *.bmp, *.wmf).

AutoCAD® comporte une centaine de menus et sous-menus, plus de 300 commandes et plus de 350 paramètres. Utiliser un tel outil de manière inefficace est une perte de temps. Le maîtriser correctement nécessite des centaines d'heures de travail. C'est pourquoi, pour une première approche, de nombreuses fonctionnalités ont été supprimées, afin d'éviter toute confusion et toute source d'erreur. Ceci

⁷² "WYSIWYG" signifie "What You See Is What You Get"

empêche aussi les étudiants de vouloir aller trop vite et d'outrepasser les étapes essentielles de l'apprentissage, en "pianotant" sans comprendre. Quelques nouvelles fonctions ont aussi été ajoutées (voire plutôt réécrites) pour rendre le produit plus convivial, telles que la possibilité de tracer des hachures simples ou la possibilité de définir interactivement différentes échelles de mesure et d'impression des cotations.

L'inconvénient ou le danger, pour les étudiants, serait de croire qu'ils sont réellement en présence d'un logiciel de Dessin Assisté par Ordinateur. Il n'en est rien. Tout le travail à venir le leur apprendra. Pour passer à cette phase de l'apprentissage, un cours magistral sera certainement nécessaire, afin de bien positionner l'utilité d'un outil, tel que *FIRST*, par rapport aux véritables systèmes de DAO, où la modélisation est le premier travail, avant la présentation papier, seule concernée ici.

3.1.2 Le didacticiel *FIRST*

Un didacticiel a été écrit pour faciliter le démarrage des étudiants pour qui c'est, à présent, la première expérience de dessin assisté, contrairement aux années précédentes où ils démarraient avec le "didacticiel 2D" (chapitre 6).

Le didacticiel *FIRST* a été conçu comme un "livre", dont chaque page décrit une étape à effectuer pour réaliser le premier dessin, depuis l'ouverture d'un fichier de dessin vierge, jusqu'à sa sauvegarde finale. Il est constitué d'une cinquantaine de pages, contenant chacune une explication de l'étape à effectuer, un support-dessin donnant l'état d'avancement de la pièce à réaliser (pour l'auto-évaluation de l'étudiant) et le détail précis de ce qui se passe à l'écran, au niveau des commandes et des réponses de l'ordinateur. Quelques remarques intéressantes de méthodologie ponctuent le texte. L'accent y est mis sur l'environnement de travail, c'est-à-dire la feuille, les unités graphiques, le repère, les menus, les outils d'accrochage et l'introduction d'une commande. Ces concepts restent valables pour la suite : ils ne seront plus à détailler dans les didacticiels futurs.

Un dessin 2D (Figure 10) a été choisi comme pièce exemple à réaliser étape par étape, de la création d'un nouveau dessin à son habillage (cotations), son impression très simplifiée (puisqu'il suffit de cliquer sur l'imprimante), et son exportation dans d'autres logiciels (MS-Word® par exemple).

Une aide en ligne est aussi fournie. Elle consiste en une liste alphabétique des commandes utilisables dans cet environnement. Chaque nom de commande est un mot, sous format "hypertext", donnant accès à une explication succincte, mais

suffisante, de celle-ci (définition en français, exemple de déroulement de la commande, exemple graphique).

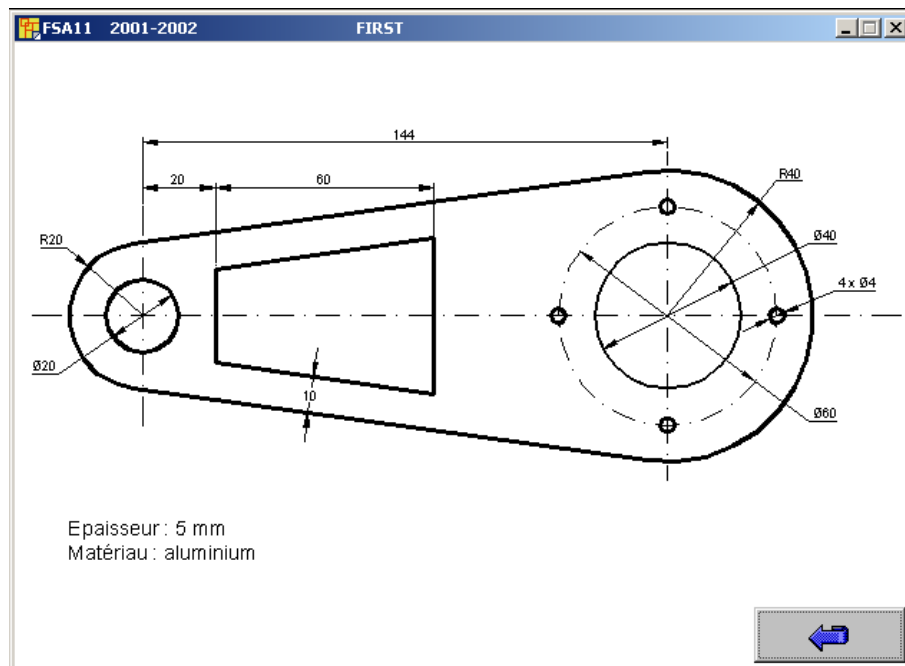


Figure 10 : Le dessin final à réaliser à l'aide du didacticiel *FIRST*

3.2 Deux dimensions et éléments de CAO

Deuxième étape, deuxième objectif : la découverte de l'électricité. Pour aider les étudiants, le second projet a pour objet la conception, la modélisation, puis la réalisation d'une lampe-flash. D'un point de vue graphique, les étudiants ont plusieurs étapes-clés à franchir. Deux phases importantes vont donc être abordées : le dessin en deux dimensions et un début de Conception Assistée par Ordinateur.

L'apprentissage du 2D, au cours de cette seconde période, est d'abord un pré-requis pour aborder le dessin 3D, étudié durant le troisième trimestre. Mais la maîtrise du dessin 2D permet aussi aux étudiants de réaliser eux-mêmes leurs propres éléments de bibliothèque, pour la conception de leur circuit électronique. Pour aborder ces notions, l'environnement "2D" est mis au point.

Maîtriser le dessin 2D est une chose; maîtriser un outil de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) en est une autre ! Pour réaliser le dessin du circuit imprimé de leur flash électronique et le sauvegarder dans un format de fichier transmissible à la machine-outil qui le gravera, les étudiants ont aussi la possibilité de travailler avec un nouvel outil, baptisé *CIRCUIT*. L'objectif de cette nouvelle phase d'apprentissage est, non seulement la réalisation du dessin du circuit imprimé, mais aussi la manipulation d'un outil de CAO. Les étudiants peuvent ainsi aborder, par la pratique, les différences essentielles existant entre des logiciels de DAO et de CAO.

3.2.1 L'environnement "2D"

L'environnement "2D" plonge les étudiants dans un nouveau "monde" : le "Model Space" (Figure 50, page 252). Il n'est plus question de dessiner en "Paper Space", tel qu'on le ferait sur une feuille de papier. Il s'agit maintenant de modéliser, c'est-à-dire de dessiner d'abord son modèle, puis d'utiliser celui-ci pour obtenir un plan à imprimer, pouvant contenir, par exemple, plusieurs détails du modèle à différentes échelles.

Les outils de base restent les mêmes : une ligne, un cercle, un point d'accrochage, un menu, des boutons, ... Rien de nouveau à ce stade. Ce qui devient maintenant essentiel concerne la bonne organisation du dessin. Pour pouvoir utiliser celui-ci et le rendre accessible ou modifiable par d'autres utilisateurs, il convient de le structurer de manière rigoureuse. C'est ainsi que sont introduites les notions de couches, de limites de dessin, ... etc.

Plusieurs fonctionnalités d'AutoCAD® nécessaires au dessin 2D sont réintroduites dans les menus. L'aide en ligne de *FIRST* est complétée par la description des fonctionnalités disponibles dans l'environnement "2D".

3.2.2 Le didacticiel "2D"

Semblable au didacticiel *FIRST*, le didacticiel "2D" plonge directement les étudiants dans une interface connue. De nouveau, un dessin modèle a été choisi. Il est volontairement semblable au dessin de *FIRST*. Sa réalisation, de l'ouverture du fichier de dessin vierge à la présentation papier de plusieurs vues à différentes échelles de la pièce, est présentée étape après étape.

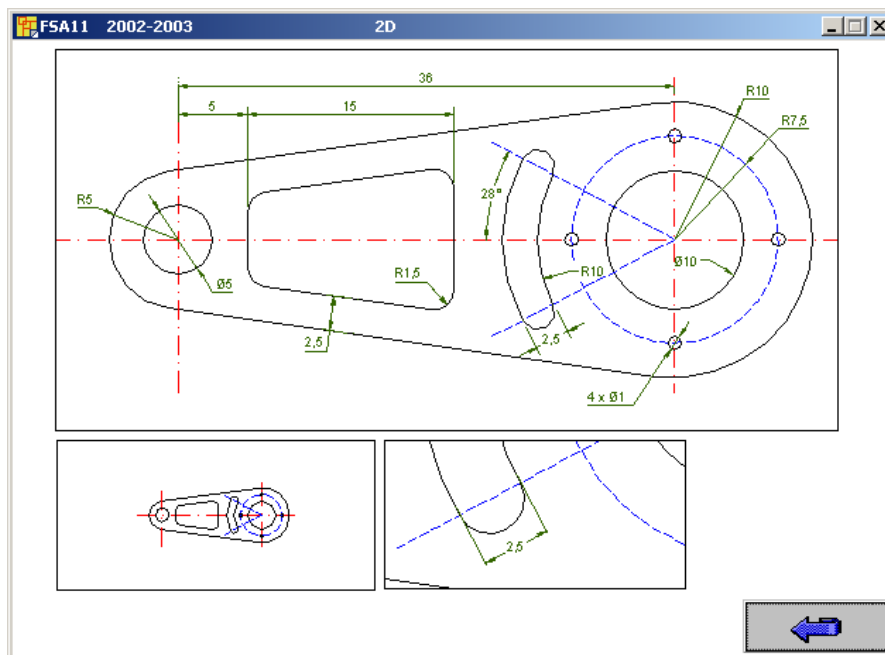


Figure 11 : Le dessin final à réaliser à l'aide du didacticiel "2D"

Le dessin à réaliser SEMBLE identique à celui proposé dans le didacticiel *FIRST*. Attention, il n'en est rien (Figure 11). Si les traits de départ sont connus et aisés à représenter (des lignes, des cercles, des tangentes, ...), il faut toutefois comprendre que l'on ne représente plus un dessin sur un papier, mais bien un *modèle*, sans échelle précise. Et cette modélisation se fait dans un monde dit "model space", permettant ensuite toutes les configurations possibles d'impression sur papier. Il sera, en effet, possible de déterminer, au moment de préparer l'impression et sans plus intervenir sur le modèle, le nombre de vues, les détails à insérer, les échelles, les entités visibles ou non, ...etc.

Les avantages du didacticiel sont évidemment multiples. On notera à nouveau la grande autonomie des étudiants, qui découvrent rapidement de nombreux concepts, à leur propre rythme. Les étudiants sont guidés par un chemin soigneusement balisé, tant du point de vue des contenus à aborder que de la méthode. Le canevas proposé par le didacticiel, pour la résolution du dessin, a d'ailleurs tendance à se retrouver tel quel dans les dessins tests, lors de l'évaluation (on retrouve, par exemple, les mêmes structures de couches, les mêmes couleurs, ...). Enfin, il est intéressant de constater

que les étudiants semblent rassurés de disposer d'un exemple de réalisation de dessin complet, dont la méthode de résolution est très détaillée et reproductible.

Lors de la réalisation de nouveaux dessins, il est assez fréquent de voir les étudiants relire certains passages du didacticiel. Il est vrai qu'ils ne peuvent, comme c'était le cas auparavant, interroger immédiatement leur enseignant dès qu'un problème se pose, puisqu'ils travaillent davantage seuls.

3.2.3 L'environnement *CIRCUIT*

Pour réaliser le dessin du circuit imprimé de leur flash, les étudiants doivent franchir trois étapes : le dessin du schéma électronique du flash, sa conversion en un circuit imprimé et enfin le tracé de la plaque, telle qu'elle sera gravée. Pour franchir ces trois étapes, un logiciel appelé *CIRCUIT*, basé sur AutoCAD® et dédié à la réalisation de circuits électroniques, est mis au point. En voici une brève description.

Le logiciel *CIRCUIT* est conçu comme un outil (modeste) de Conception Assistée par Ordinateur. Il se compose de trois environnements de travail, relativement inter-dépendants, mais non accessibles simultanément. Voici, sur un exemple simple, les différentes étapes de réalisation du dessin du circuit électronique, correspondant à un dispositif permettant de faire flasher une LED.

L'environnement *SCHEMA* est le premier utilisé. Il est l'environnement par défaut, lorsqu'on démarre un nouveau dessin. Il présente, comme dans *FIRST*, un espace graphique de la taille d'une feuille A4 (en Paper Space). Il y permet le dessin du schéma, par insertion des divers composants utiles présentés dans un tableau (réalisés sous forme de blocs dans AutoCAD®), et des liaisons (qui ne sont autres que des polygones 2D) entre ces composants. Aucune vérification de conception n'est appliquée à ce premier dessin. Il convient d'y "recopier" le schéma, réalisé préalablement sous forme papier-crayon (exemple, Figure 12 et Figure 13).

A chaque composant électronique doit ensuite être associé (sous forme d'attribut de bloc) le numéro correct de son "foot-print", c'est-à-dire une correspondance à un composant électronique réel, dont on connaît la géométrie et les dimensions exactes. Plusieurs "foot-print" sont possibles, selon l'orientation ou le type de composant choisi. Ceci prépare le passage "automatisé" à l'environnement *CIRCUIT IMPRIME*.

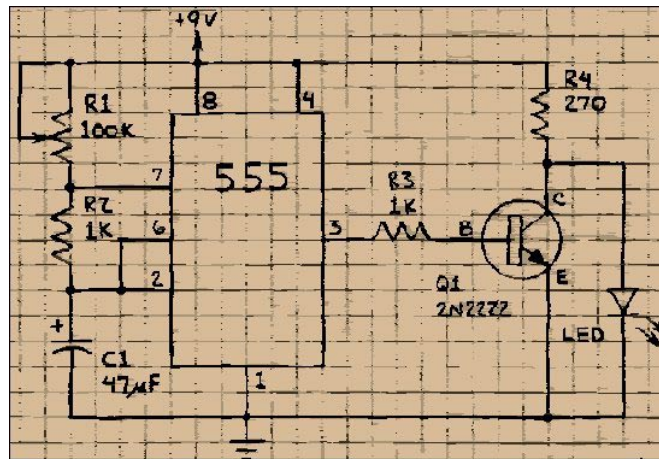
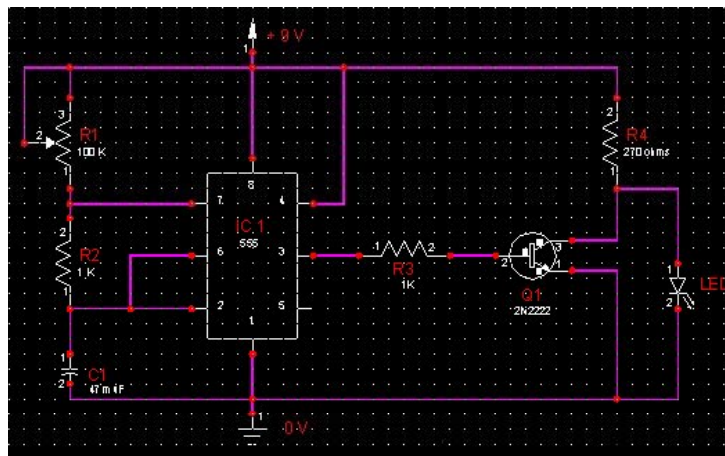


Figure 12 : Le schéma "papier-crayon" du circuit à réaliser

Figure 13 : Le même schéma représenté avec *CIRCUIT* dans le premier environnement

Le passage à l'environnement *CIRCUIT IMPRIME* génère, de manière automatique, un circuit correspondant au schéma théorique de départ. Celui-ci comprend les composants à taille réelle et des liaisons dites "de travail" (en bleu, Figure 14). Celles-ci sont recopiées de l'environnement schéma (liaisons magenta de la Figure

13), mais doivent toutes être repositionnées correctement, en tenant compte de la place réellement disponible sur la plaque physique à utiliser et de l'emplacement que l'on désire attribuer à chaque composant. Dans cet environnement, le travail consiste donc à déplacer chaque composant et à redéfinir des liaisons cohérentes, en évitant tout croisement inexact, en utilisant les pattes correctes des composants, etc.

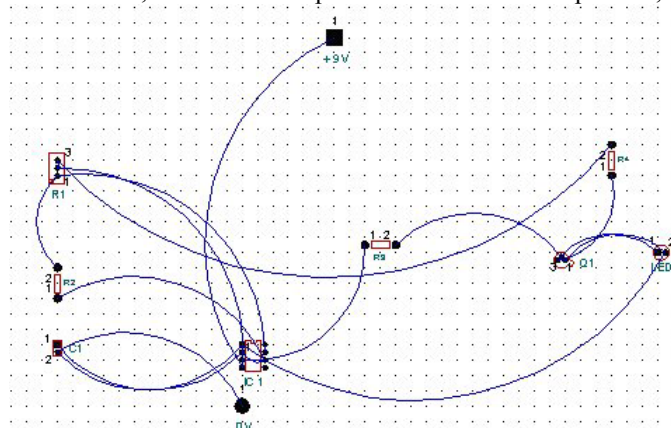


Figure 14: Passage à l'environnement *CIRCUIT IMPRIME* où l'on visualise les nouveaux composants et les liaisons de travail

A tout moment, le système peut vérifier la concordance entre le nouveau circuit imprimé, qui se crée petit à petit, et le schéma théorique de référence.

Lorsque tous les composants sont correctement placés et lorsque toutes les liaisons ont été redéfinies, il reste à passer à l'environnement FICHIER. Celui-ci est un environnement de dessin classique, dans lequel on s'occupe principalement de l'exportation du circuit imprimé vers la machine-outil de l'atelier qui en assurera la réalisation technique. C'est dans cet environnement que se définit le centrage de la plaque, que s'ajoute le texte à y imprimer. C'est là aussi que peuvent se corriger certaines liaisons ou certains éléments, d'un point de vue purement graphique (DAO), sans plus aucune vérification (CAO). La sauvegarde du dessin, dans cet environnement, génère un fichier de format *.dxf lisible par la machine-outil.

Par l'exemple, il est aisé de comprendre que le logiciel *CIRCUIT* permet aux étudiants d'aborder un premier outil et surtout les concepts de CAO. En effet, la partie graphique est limitée à l'insertion d'éléments de bibliothèque prédéfinis ou à dessiner; en revanche, le travail réside surtout dans la vérification des contraintes du circuit et la préparation d'un fichier externe destiné à la machine-outil.

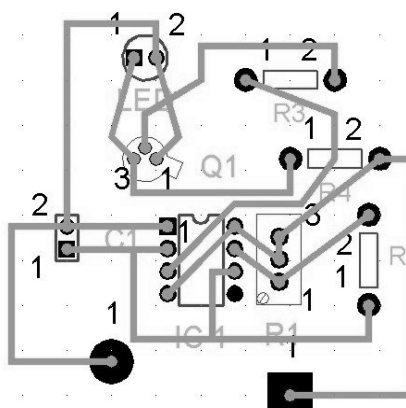


Figure 15 : Le même circuit imprimé, après remplacement correct des composants, des liaisons, ... (La figure est légèrement agrandie par rapport à la figure précédente pour permettre de mieux distinguer le travail)

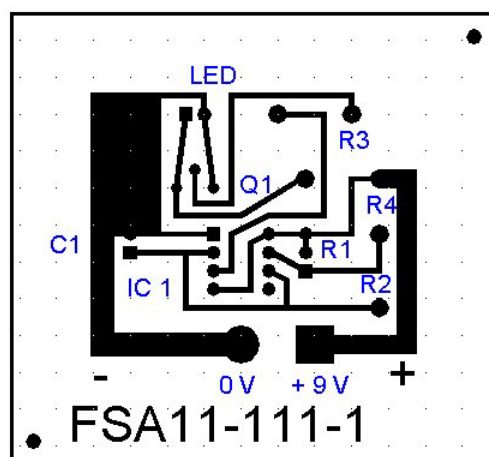


Figure 16 : Exemple de dessin transféré à la machine-outil gravant la plaque

3.2.4 Le didacticiel *CIRCUIT*

Comme pour *FIRST* et "*2D*", un didacticiel a été écrit pour faciliter le démarrage des étudiants dans leur apprentissage de *CIRCUIT*. L'accent y est mis sur les trois environnements de travail et les différentes opérations possibles dans chacun d'eux.

Un circuit imprimé a été choisi comme pièce exemple à réaliser, étape par étape, de la création d'un nouveau dessin, à son exportation à la machine-outil. Il s'agit du circuit décrit ci-dessus (Figure 12 à Figure 16). Une aide en ligne des commandes utilisables est aussi fournie.

La présentation du didacticiel et de l'aide en ligne est semblable à celle déjà connue des didacticiels et aides précédents. Les étudiants ne perdent pas de temps à se familiariser avec un nouvel outil d'auto-apprentissage, mais focalisent directement leur attention sur le contenu et la méthode à acquérir.

3.3 Trois dimensions et images de synthèse

Le troisième projet proposé, lors de la première année de formation, consiste en la modélisation et la simulation d'un système multicorps. Il consiste, par exemple, en l'étude des mouvements d'un quad, lancé à vitesse donnée sur un tremplin. Ceci nous pousse tout naturellement à proposer un apprentissage du dessin en trois dimensions, pour la réalisation des corps du système à concevoir, avant de passer à l'animation virtuelle de celui-ci. L'étude du DAO se complète donc par l'apprentissage du dessin 3D et tout se qui touche à la fabrication des images "réalistes".

Quand on aborde le dessin en trois dimensions, il faut comprendre que diverses techniques de représentation coexistent. Parmi elles, citons les deux plus utilisées : le dessin 3D en termes de surfaces (volumes creux représentés par leurs faces extérieures) et le 3D en termes de volumes (solides pleins). Pour les comprendre, deux environnements sont proposés aux étudiants : le *3DS* (surfaces) et le *3DV* (volumes).

Enfin, pour aider les étudiants à créer un film en images de synthèse, simulant le parcours de leur système multicorps, un dernier environnement est créé : l'environnement *ANIMATION*. Celui-ci clôture ainsi une large exploration des possibilités et ouvertures d'un système de DAO.

3.3.1 L'environnement 3DS

L'environnement 3DS est l'environnement "2D" complété des outils (entités et opérations possibles) relatifs au dessin d'entités 3D, technique des surfaces. Les menus relatifs aux entités 3D (régions et surfaces), opérations 3D, définition de nouveaux repères et modification des points de vue sont ajoutés.

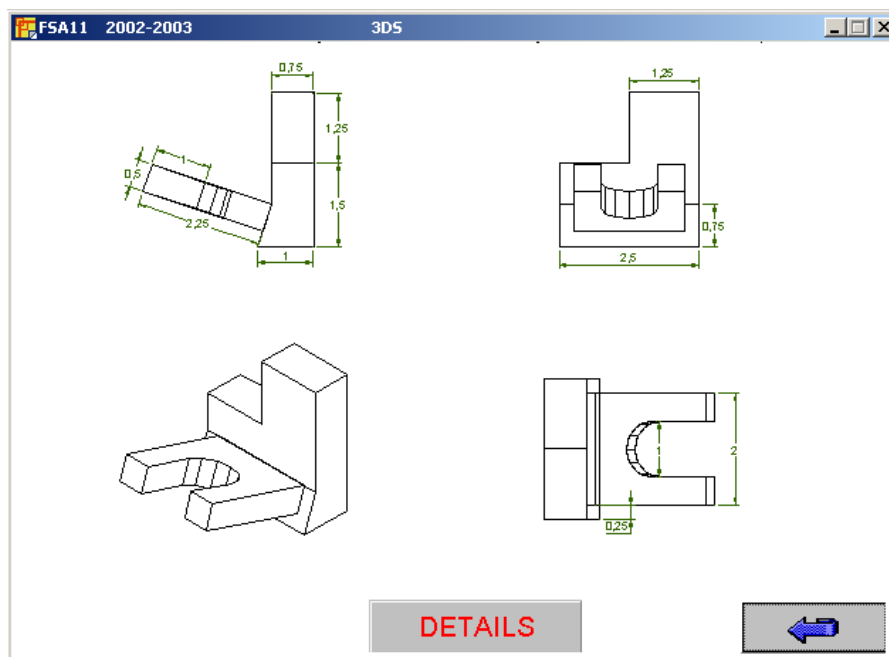


Figure 17 : Le dessin final à réaliser à l'aide du didacticiel 3DS (le bouton DETAILS donnant une vue agrandie de chaque profil de la pièce)

3.3.2 Le didacticiel 3DS

Le didacticiel 3DS complète le didacticiel "2D". De nouveau, un dessin est choisi comme exemple et détaillé pas à pas (Figure 17). Peu de notions déjà abordées en 2D sont répétées en 3DS. Seules quelques redites sont faites, à propos de l'impression d'un dessin sur papier, étant donné la complexité de l'opération.

L'accent est donc mis sur les objets 3D à manipuler, les différentes manières de représenter des surfaces et surtout sur deux notions fondamentales pour la manipulation d'objets de l'espace. Celles-ci, plus complexes, sont la manipulation des repères et des projections parallèles, permettant de définir différents points de vue d'un objet 3D. Ces concepts sont délicats, dans la mesure où ils nécessitent une bonne vision spatiale de la part des étudiants. Ils sont largement commentés dans le didacticiel.

Comme en 2D, l'accent est mis sur le rôle de l'espace "Model Space", dans lequel l'objet 3D est modélisé, contrairement à l'espace "Paper Space", dans lequel se prépare l'impression du plan papier. Les concepts d'échelle graphique, de cotation, de gestion des couches y sont assez ardues à comprendre. Une large part leur est à nouveau réservée dans les pages de ce didacticiel.

3.3.3 L'environnement *3DV*

L'environnement *3DV* ressemble à s'y méprendre à l'environnement *3DS*. Comme précédemment, les accès aux outils *3DV* (entités et opérations possibles en 3D volumes) sont simplement ajoutés. Notons que, petit à petit, l'ensemble des possibilités d'un logiciel professionnel tel qu'AutoCAD® est abordé. C'est pourquoi, pour la première fois, en plus de l'aide en ligne propre à *3DV*, l'aide en ligne officielle d'AutoCAD® dans sa version anglaise est accessible, conformément à notre choix d'amener, progressivement, les étudiants à utiliser la version complète du logiciel.

3.3.4 Le didacticiel *3DV*

Le didacticiel *3DV* présente les mêmes caractéristiques que ses prédécesseurs, tant du point de vue de la présentation que de la philosophie sous-jacente. Il décrit toujours, pas à pas, les différentes étapes à effectuer pour atteindre la présentation papier d'une pièce en 3D volumes, choisie comme pièce de référence (Figure 18). Le plus difficile, dans ce cas, est certainement de décrire une méthode de travail. En effet, il est difficile de décrire la construction d'un volume complexe en termes d'unions, de soustractions ou d'intersections de quelques volumes canoniques donnés et de contours 2D extrudés.

De plus, sans avoir testé quelque hypothèse que ce soit, il semble, intuitivement, qu'une bonne vision dans l'espace constitue un atout important à la compréhension des étapes à franchir. Pour faciliter le démarrage, les dessins sont donc désormais

proposés, non seulement sous la forme des plans principaux de projection (comme décrits page 232), mais aussi selon une vue axonométrique classique.

Ce dernier didacticiel de la série complète les précédents. Il ne peut, comme son prédécesseur *3DS* d'ailleurs, être étudié isolément. Les notions introduites dans chaque didacticiel sont considérées comme acquises lors du démarrage du suivant. Seules quelques notions plus complexes sont répétées ou citées pour rappel (définition des vues, définitions des échelles, etc.).

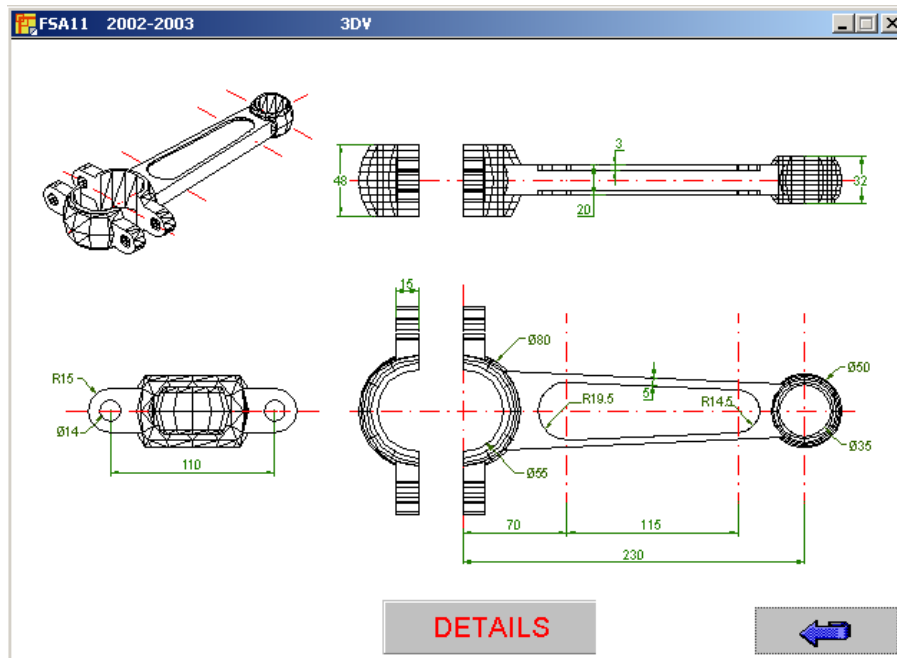


Figure 18 : Le dessin final à réaliser à l'aide du didacticiel *3DV* (le bouton DETAILS donnant une vue agrandie de chaque profil de la pièce)

3.3.5 L'environnement *ANIMATION*

Pour simuler les mouvements d'un système multicorps (validation de modèles intermédiaires et génération d'un film final), un dernier outil, toujours basé sur AutoCAD®, a été mis au point. Celui-ci permet de générer une véritable simulation,

en images de synthèse, des différents corps dessinés en trois dimensions et constituant le système.

L'outil décrit ici est très différent des précédents. Son principe d'utilisation est le suivant : dans une phase précédente du projet et indépendante du DAO, les étudiants sont amenés à générer un système d'équations, décrivant les mouvements de chaque corps constituant leur système multicorps. Ils doivent ainsi générer un fichier de données cinématiques reprenant, pour chaque image du futur film, les positions des différents corps (point d'insertion du corps, direction des axes OX et OY du repère du corps) constituant le système étudié. Lorsque ce travail préliminaire est terminé, il est possible de passer à la représentation des différents corps du système, du décor dans lequel il va évoluer, avant de générer des images de synthèse proprement dites et un film final. Pour cela, l'outil *ANIMATION* est indispensable.

L'environnement *ANIMATION* va, d'une part, permettre de représenter, dans un premier environnement très proche de celui de *3DV*, chaque corps du système (lequel sera sauvegardé dans un fichier distinct, sous forme de bloc). D'autre part, en passant à l'environnement propre à l'animation, il sera possible de générer chaque image, sous forme de bloc, en y insérant l'ensemble des corps du système, tenant compte de leur position décrite dans le fichier de cinématique.

Avec l'outil *ANIMATION*, les étudiants ont l'occasion d'aborder beaucoup de nouveaux concepts, soit graphiques, soit mathématiques. Parmi eux, citons les notions de :

- Blocs. Ceux-ci sont déjà décrits et utilisés dans l'environnement *CIRCUIT*. En effet, les différents composants d'un circuit électronique sont stockés dans une bibliothèque sous forme de blocs. Mais avec le logiciel *ANIMATION*, les étudiants doivent davantage retravailler ce concept. En effet, chaque corps constituant le système multicorps est généralement formé de plusieurs entités de dessin, mais représente un seul "objet" (un seul "bloc" graphique) qui, indépendamment des autres corps, subira une série de déplacements, rotations, etc. Dans ce cas, l'utilisateur doit lui-même créer ces propres "blocs" (contrairement à l'environnement *CIRCUIT* où il ne fait qu'utiliser des blocs existants), en respectant une série de règles (création dans une couche particulière, gestion des couleurs et des attributions de matériaux, sauvegarde, etc.).
- Attribution de matériaux. *ANIMATION* est le premier environnement pour lequel attribuer des matériaux aux différents éléments à animer prend vraiment tout son sens. En effet, pour générer des images de synthèse correctes, il sera

nécessaire de générer une véritable "scène", c'est-à-dire ajouter, en plus d'un décor (par exemple un chemin pour visualiser le parcours d'un quad), les lumières l'éclairant. Or, qui dit lumière, dit gestion importante des matériaux. Ceux-ci possèdent, en effet, des propriétés très intéressantes de réflexion, réfraction, transparence, couleurs, textures, reliefs, ... qui ne peuvent être visualisées que si une ou plusieurs sources de lumière sont définies.

- Ombrage. Nous venons de le souligner, la lumière prend toute son importance pour visualiser correctement le comportement des matériaux. Elle permet aussi de générer les ombres portées des différents corps. Là aussi, il est nécessaire de comprendre la position du système multicorps, par rapport à la position du soleil (défini par défaut à Louvain-la-Neuve le 21 juin, 10h), son intensité et le rôle de la lumière ambiante.
- Couleur. Les utilisateurs du logiciel *ANIMATION* ont la possibilité de générer des images de synthèse avec différentes palettes de couleurs, basées sur 8, 16, 24 et même 32 bits. En générant quelques images, il est très facile de visualiser les différentes qualités produites, selon le choix effectué.
- Rendu réaliste. Plusieurs types de rendus d'images coexistent dans *ANIMATION*. Ils vont d'un simple rendu d'images tenant compte, par exemple, des matériaux au niveau de leur couleur mais d'aucune lumière solaire, jusqu'à un rendu de type "Raytracing", tenant compte des matériaux et de toutes leurs propriétés, du soleil et des ombres portées, du lissage des parties courbes du dessin, etc. Ces rendus produisent, évidemment, des images de synthèse de qualités différentes et plus ou moins longues à générer (Figure 19). On le comprend aisément, plus la qualité souhaitée est grande, plus le temps de calcul d'une image est important.
- Projection parallèle et perspective centrale. Ces deux techniques de représentation plane d'objets tridimensionnels sont utilisées dans *ANIMATION*. La méthode la plus simple est la projection parallèle. Les rayons de projection y sont tous parallèles à la direction de projection fixée. L'avantage de cette projection est de conserver le parallélisme et la proportionnalité des distances. Elle est facile à opérer pour le dessin à la main, mais ne rend pas un résultat conforme à la réalité. Elle est donc peu utilisée avec les ordinateurs pour des rendus réalistes. La seconde méthode de projection, la perspective centrale, rend mieux compte de la réalité, puisque plus proche de notre vision et de la photographie. Elle est la représentation choisie par défaut dans *ANIMATION* (contrairement aux environnements *3DS* et *3DV*).

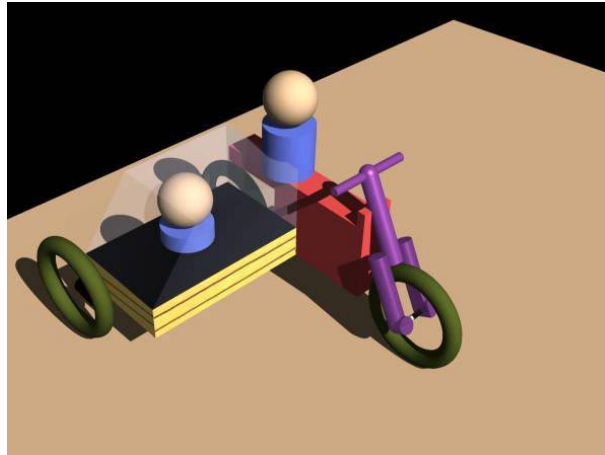


Figure 19 : Exemple de rendu d'une image (side-car : corps simplifiés)

- Positions de caméra et de cible, distance focale. Si les notions de perspectives centrales nous sont très intuitives, elles n'en restent pas moins mystérieuses au moment où, explicitement, il faut déterminer dans l'espace les positions réelles de caméra (d'où regarder), de cible (vers où regarder) et déterminer une distance focale (l'angle et le champ de la prise de vue). L'outil *ANIMATION* permet de manipuler ces concepts, à la fois familiers dans le langage courant, mais pourtant techniques. L'utilisateur comprend, après quelques manipulations, la portée de ses choix. Il ne faut toutefois pas confondre le comportement d'un appareil photographique, tributaire d'un ensemble de lentilles, et le comportement d'un logiciel de DAO, manipulant les notions de perspectives d'un point de vue purement mathématique (appareil photo idéal). On ne retrouvera donc pas, dans le choix d'une distance focale particulière, une modification de la zone de netteté de l'image (profondeur de champ).
- Plans de vue. Par défaut, une position de caméra, une distance focale et un point cible sont fixés dès le démarrage d'*ANIMATION*. Pour générer une animation plus dynamique, il est possible de définir ce que nous appelons des "plans de vue", différents le long du parcours. Un plan de vue est défini par une position de caméra, une position de cible et une distance focale, pour une image particulière. Le long du parcours de son système multi-corps, l'utilisateur peut donc définir plusieurs plans de vue. Soit ceux-ci sont considérés comme plans

fixes à certaines images-clés, soit une interpolation linéaire est possible entre les plans de vue, afin de générer une animation plus souple. Ceci permet de simuler différents mouvements de caméra, tels qu'un panoramique (la caméra ne se déplace pas, elle bouge sur son axe pour balayer l'espace), un effet de zoom avant ou arrière (la caméra ne se déplace pas, mais se rapproche du sujet grâce aux modifications de la focale) ou un effet de travelling (la caméra se déplace pour filmer le sujet en le suivant dans son mouvement).

- Génération d'un film et sa méthodologie sous-jacente. Après avoir défini les différents plans de vue constituant l'animation, les matériaux associés aux objets et la qualité de rendu réaliste qu'il désire, l'utilisateur est en mesure de fabriquer le film complet, aidé par le logiciel, qui assemble automatiquement les images générées.

La génération d'un film d'images de synthèse peut être une opération plus ou moins longue, en fonction de la qualité des images que l'on désire obtenir et la complexité du dessin réalisé. Comme toute activité de conception, celle-ci requiert des allers et retours, des essais et des erreurs. Adopter une bonne méthodologie de travail permet d'obtenir en un temps relativement court (quelques jours) une animation au meilleur rapport qualité-temps de création. Pour la facilité de l'utilisateur, quelques conseils méthodologiques sont fournis dans le mode d'emploi d'*ANIMATION*. En effet, pour ne pas perdre de temps, une manière efficace de travailler pourrait se diviser en quatre phases : validation d'une cinématique sur base de l'animation d'un système multi-corps très simplifié (dessins des corps et décors dépouillés de matériaux et de détails inutiles), validation des plans de vue permettant une simulation d'un élément critique du système (par exemple, un zoom sur les mouvements d'une suspension), validation du rendu réaliste d'une image (dessins des corps et décors complétés de leurs matériaux) et enfin génération d'un film complet. Ce travail en plusieurs phases permet de valider les modèles, tant cinématique que de dessin, puis seulement de passer à un habillage plus satisfaisant des images, en ajoutant des matériaux et divers éléments du décor, pour la fabrication définitive du film.

4 Développement technique des didacticiels et environnements

Le style de chaque didacticiel et de l'aide en ligne associée est resté le même que celui de l'ancien "didacticiel 2D" décrit au chapitre 4. En effet, aucun commentaire négatif n'avait été émis à ce sujet et l'objectif ici n'est pas d'en faire des produits de

haute valeur multimédia, mais bien des outils de travail pratiques et sobres. Comme le précédent, les didacticiels *FIRST*, *2D*, *CIRCUIT*, *3DS* et *3DV* ont été réalisés à l'aide du logiciel Asymetrix™ Multimedia™ Toolbook™, système Auteur multimédia pour Microsoft® Windows™. Les exécutables générés permettent aux didacticiels d'être des outils totalement indépendants du fonctionnement d'AutoCAD® et peuvent donc être lus seuls.

Les environnements de travail, quant à eux, sont directement dépendants du logiciel, puisqu'ils sont principalement basés sur les menus d'AutoCAD® 2000. Ces menus de base ont été initialement réduits au strict nécessaire pour *FIRST* et progressivement complétés pour les environnements *2D*, *3DS* et *3DV*, conformément à notre choix pédagogique d'aborder l'ensemble des notions de manière progressive.

L'environnement *CIRCUIT* est différent des précédents, dans la mesure où les menus (barres de menus et icônes) qui le constituent sont créés de toutes pièces pour l'application. Les fonctions associées aux nouveaux boutons ont été écrites en Visual Lisp, langage interne disponible dans AutoCAD®.

Quant à l'environnement *ANIMATION*, il se compose de deux parties : l'une proche de l'environnement *3DV*, pour la modélisation d'un système multicorps 3D et la seconde, permettant de générer l'animation de ce système. L'environnement *3DV* dont il est question ici, est l'environnement *3DV* précédent, augmenté des quelques fonctionnalités relatives à la gestion des matériaux (leur définition et leur application aux entités), d'un unique bouton et d'un menu permettant l'accès à *ANIMATION*.

Le second environnement de l'*ANIMATION* est caractérisé par l'affichage de deux fenêtres distinctes : l'une étant la fenêtre graphique, légèrement réduite par rapport à celle des versions précédentes (*2D*, *3DS*, *3DV*) et l'autre, offrant la possibilité d'ouvrir une animation existante ou d'en créer une nouvelle. Cette fenêtre et celles qui lui sont associées figurent toutes dans cette zone contiguë à la fenêtre graphique (voir un exemple en annexe, page 253). Tous les boutons de fonctions auxquels il est possible d'accéder, selon le travail à réaliser, ont été écrits en MS-VB. Les fonctions agissant sur des commandes d'AutoCAD® ont été écrites en Visual Lisp (ouverture de fichiers, sauvegarde, insertion d'une image, etc, ...). Le transfert d'informations entre MS-VB et AutoCAD® se fait principalement par l'intermédiaire de fichiers externes (format "text") et de communication DDE (Dynamic Data Exchange).

5 L'organisation de l'enseignement

L'environnement *FIRST* (menu d'AutoCAD[®], didacticiel, aide en ligne) n'a été disponible pour les étudiants qu'à la fin du premier trimestre, trois semaines avant la remise définitive des rapports de projet. Son utilisation est restée facultative. Aucun cours magistral associé n'a été dispensé. Seules quelques heures de consultance ont été organisées, pour aider les étudiants soit dans leur apprentissage, soit déjà dans certaines de leurs réalisations.

Aucun problème particulier n'est à signaler, mais il n'a pas été fait de contrôle systématique de l'utilisation de l'outil. En effet, celui-ci était à disposition des étudiants sans obligation d'utilisation. Toutefois, les dessins créés avec *FIRST* et fournis dans les rapports de projets des étudiants, en fin de premier trimestre, sont d'un excellent niveau (manipulation correcte des types de traits, des cotations, des échelles,). Un bémol toutefois pour les étudiants : ils sont frustrés de ne pouvoir travailler en 3D. Mais cela fait partie du choix méthodologique que nous avons adopté, pour assurer une progression de l'apprentissage en douceur.

Le choix de représenter une pièce semblable dans les didacticiels *FIRST* et "2D" a pour objectif de positionner les étudiants, dès le départ de l'apprentissage du 2D, dans un environnement qui leur paraît familier, quant à l'utilisation des commandes de base du logiciel. Les difficultés à aborder, à l'aide de ce deuxième outil, ciblent donc la méthodologie de représentation, la structure du dessin, la compréhension de l'utilité de l'espace de modélisation et non pas les commandes purement graphiques (line, circle, tangent to, etc.). L'effet indésirable de ce choix serait que l'étudiant estime avoir déjà réalisé le dessin et juge en maîtriser suffisamment les tenants et aboutissants, plutôt que d'investir encore du temps à le "recommencer". Or, nous venons de voir que ce travail n'est en rien une répétition, mais bien une nouvelle approche. Un cours magistral, exposant clairement cette différence fondamentale entre le crayon électronique et les premiers concepts de DAO, s'impose à cette étape de l'apprentissage.

Ce cours est donné au début de ce second projet. Il permet aux étudiants de démarrer leur apprentissage du dessin 2D et présente, à partir de quelques exemples simples, les concepts et la méthodologie de base. La suite du travail est essentiellement individuelle. Chaque étudiant parcourt le didacticiel 2D à son rythme. Des dessins 2D sont proposés sur le WEB, à titre d'exercices.

Un second cours magistral est ensuite organisé, basé sur les contenus et concepts de l'environnement *CIRCUIT*. L'enseignant y expose, non seulement les principes

d'utilisation du logiciel, mais aussi les bases du transfert d'informations entre AutoCAD® et d'autres logiciels.

Dans cette séquence (*FIRST* puis *2D* et *CIRCUIT*), nous avons rencontré peu de problèmes. Quelques rares étudiants n'ont pas tout de suite compris l'intérêt de la modélisation, par rapport au dessin dans l'environnement *FIRST*. Mais dès que les problèmes d'impression surgissent, cela devient plus clair. Ce sont toutefois les difficultés de la préparation d'une feuille à imprimer qui sont les plus présentes : cotations du dessin à différentes échelles, problème d'alignement des vues, gestion des cadres, ...

Avec l'environnement *CIRCUIT*, les étudiants ne quittent pas encore définitivement le type d'environnement qui leur avait été fourni, au premier trimestre, avec *FIRST*. En effet, il leur suffit toujours, dans ce cas-ci, de dessiner des entités 2D de base (une liaison électronique étant simplement une polyligne dans AutoCAD®) dans le mode "Paper Space". Mais c'est aussi la première fois que les étudiants manipulent les bibliothèques d'objets, avec les blocs d'informations et leurs attributs.

C'est aussi l'occasion, pour les étudiants, de comprendre la différence qu'il y a entre un système de Dessin Assisté par Ordinateur et un outil de Conception Assistée par Ordinateur. Tout modestement, les vérifications faites entre le travail réalisé dans l'environnement *SCHEMA* et celui réalisé dans l'environnement *CIRCUIT IMPRIME* en est un bon exemple. C'est plus que du dessin, c'est une aide à la conception. Un mauvais croisement de pistes, une mauvaise liaison entre deux éléments, ... sont détectés et signalés à l'utilisateur. Il lui est même impossible de poursuivre dans cette mauvaise voie.

L'outil *CIRCUIT* a été utilisé par les 300 étudiants de première année. Les difficultés rencontrées sont surtout dues au temps restreint dont ils disposent pour aborder ce type d'outil. Ils ont peu de temps pour approfondir les notions importantes mais ceci est inhérent à l'organisation du projet. Ceci a pour conséquence une lecture, semble-t-il, un peu superficielle du didacticiel et des consignes données pour faciliter le travail. Quant aux circuits conçus, ils sont corrects et n'ont posé aucun problème lors de leur réalisation physique.

Enfin, les étudiants ne sont pas obligés d'aborder un logiciel de conception électronique professionnel et complexe. Les résultats qu'ils obtiennent sont tout à fait satisfaisants, par rapport aux exigences attendues. Le souhait de n'aborder qu'un seul logiciel de DAO tout au long de l'année est respecté. Dès le troisième didacticiel, nous pouvons observer cette rapidité de mise en route des étudiants,

familiers à l'environnement d'AutoCAD®. Ceci plaide en faveur du choix judicieux d'un fil conducteur.

Un troisième cours magistral, en début de troisième trimestre, présente les concepts de base du dessin en trois dimensions, mais aussi la restructuration des connaissances acquises précédemment en 2D. En effet, c'est durant ce cours que sont commentées les principales erreurs rencontrées lors de l'évaluation 2D (voir paragraphe "Evaluations", ci-après) et que les étudiants peuvent interpellier l'enseignant, concernant un point incompris de la matière ou de la méthode à employer. Il nous semble indispensable de s'assurer, à ce stade de l'apprentissage, que les notions 2D sont correctement assimilées pour deux raisons : la première est que le dessin en trois dimensions utilise de nombreuses notions étudiées via le 2D (limites, couches, entités 2D, impression, etc.) mais aussi parce que les didacticiels *3DS* et *3DV* ne reprennent plus ces notions. Ils entament immédiatement le vif du sujet 3D.

Un quatrième et dernier cours magistral décrit ensuite les concepts de base des images de synthèse, tels que les notions de couleurs, matériaux, positions de caméra et de cible, perspectives centrales, projection parallèle, ... etc. Il introduit les notions principales de l'utilisation du logiciel *ANIMATION*, en se basant sur quelques exemples.

Au niveau des travaux pratiques, les étudiants disposent, dans un premier temps, des didacticiels *3DS* et *3DV*, des aides en ligne associées et de quelques exemples de dessins (sur le Web) à réaliser à leur rythme. Dans une seconde phase, ils disposent du logiciel *ANIMATION*. Aucun didacticiel ni aide en ligne n'ont été écrits pour lancer les étudiants dans l'*ANIMATION*. Ceux-ci disposent d'un mode d'emploi⁷³ complet et détaillé du logiciel, incluant une note méthodologique. L'aide en ligne, mise désormais à disposition des étudiants, est la véritable aide d'AutoCAD® 2000, dans sa version anglaise. Le but poursuivi ici est de mettre les étudiants dans les conditions réelles de l'utilisation du logiciel et plus de ses versions simplifiées et progressivement complétées. L'étudiant devrait, de cette manière, prendre lui-même l'initiative d'une recherche, aussi complexe soit-elle. En effet, il semblerait que pour faciliter le transfert des connaissances à un contexte professionnel, "le support de l'enseignant doit graduellement être retiré afin d'offrir aux étudiants des opportunités d'initiatives et de prises en charge de leurs propres démarches de travail. Le niveau de support que devrait offrir l'enseignant initialement est

⁷³ Mode d'emploi fourni par groupe d'étudiants dans sa version papier et disponible sur le Web, sous format PDF.

inversement proportionnel à l'expérience de ceux-ci. (...) Ceci devrait favoriser l'émergence d'une autonomie de pensée et d'action fortement attendue par le milieu professionnel" (Frenay & Bédard, sous presse).

Du point de vue de l'encadrement des étudiants, un monitorat libre (ou consultance) est organisé la première année de cours (2000-2001). Plusieurs modules horaires (en moyenne 1h30 par semaine et par trois groupes de huit étudiants) sont prévus et communiqués aux étudiants. Durant ces heures, les étudiants peuvent obtenir de l'aide de l'enseignant. Il n'y a aucune obligation pour les étudiants de participer à ces monitorats, mais ils leur sont vivement conseillés.

La deuxième année de cours (2001-2002), les consultances sont plutôt organisées sous forme de tutorat. L'enseignant passe systématiquement dans tous les locaux⁷⁴ d'étudiants, pour les interpeller sur l'avancement de leur travail. Dès qu'une question est posée, l'enseignant guide l'étudiant vers une solution (sans la lui fournir, mais en lui donnant les moyens de la découvrir seul) et peut profiter de l'occasion pour diffuser l'information aux autres étudiants présents.

De plus, les étudiants disposent d'un livre de référence, dans leur bibliothèque de groupe, et du syllabus (page 239), mis à jour et converti au format PDF⁷⁵. Enfin, il leur est toujours possible de contacter l'enseignant, par courriel, pour solliciter un rendez-vous supplémentaire ou soumettre une question plus urgente.

Le Tableau 20, en annexe page 254, est la synthèse du déroulement du dispositif.

6 Evaluation des connaissances

Nous avons peu parlé de l'évaluation des connaissances. Elle a pourtant toute son importance, dans le processus complet de l'apprentissage. Elle se divise en quatre parties, pour lesquelles les critères globaux de l'évaluation sont connus par les étudiants, car disponibles sur le site Web du cours et clairement définis par rapport aux objectifs annoncés.

La première partie consiste en la réalisation individuelle, sur ordinateur, d'un dessin 2D donné sur papier. Ce test a lieu la neuvième semaine du deuxième trimestre et

⁷⁴ Un local de travail est attribué à trois groupes de huit étudiants.

⁷⁵ Lejeune, M., Pelsser, Y., Tourpe, A., (2000), *Dessin Assisté par Ordinateur*, Notes de cours et mis sur le site du cours (seulement accessible aux étudiants).

évalue principalement les acquis relatifs à l'environnement "2D". La seconde partie est intégrée à l'évaluation globale en groupe du projet trimestriel, lors de sa défense devant un jury, la onzième et dernière semaine du deuxième trimestre. Elle évalue, dans ce cas, les acquis relatifs à la manipulation des contenus et concepts de l'environnement *CIRCUIT*.

Les troisième et quatrième parties de l'évaluation reproduisent le schéma précédent, durant le troisième trimestre. C'est ainsi, qu'individuellement, sont évalués les acquis relatifs aux environnements *3DS* et *3DV*, sous forme d'un dessin à réaliser sur ordinateur et, qu'en groupe, sont évalués les acquis relatifs à l'environnement *ANIMATION*.

Les dessins réalisés lors des tests sont consultables sur demande et individuellement après corrections.

7 Impact du dispositif pédagogique

Au terme de deux années de réforme, il nous paraît intéressant de comparer les résultats obtenus par les étudiants. Rappelons que nous disposons de deux groupes d'étudiants : l'un ayant bénéficié de séances libres de *monitorat*, tout au long de l'apprentissage (année 2000-2001), et l'autre ayant bénéficié de séances régulières de *tutorat* (année 2001-2002).

Au niveau des évaluations, nous ne disposons que des résultats aux tests 2D et 3D réalisés individuellement par chaque étudiant. L'évaluation des acquis au sein des projets (évalués au terme des présentations devant jury) n'a pas une composante "DAO" précise. Elle porte sur l'ensemble des acquis. De plus, les notes de projet sont attribuées de manière identique à chaque membre du groupe et non relativement à l'apport de chacun. Nous nous en tiendrons donc à effectuer quelques comparaisons, au niveau des deux tests individuels.

7.1 Caractéristiques des populations

Comme le laissent entrevoir les histogrammes ci-dessous, les résultats globaux des étudiants et les résultats des tests 2D et 3D pour les groupes 2000-2001 ($KS_{336}=0.109$, $p=0.000$; $KS_{316}=0.067$, $p=0.002$ et $KS_{279}=0.066$; $p=0.005$) et 2001-2002 ($KS_{368}=0.133$, $p=0.000$; $KS_{340}=0.068$, $p=0.001$ et $KS_{304}=0.080$; $p=0.000$) ne suivent pas une distribution normale, selon les tests de Kolmogorov-Smirnov. Nous

choisirons donc, dans la suite, d'éprouver nos hypothèses à l'aide de tests non paramétriques.

7.2 Comparaison globale des deux groupes 2000-2001 et 2001-2002

Avant d'effectuer quelques statistiques, relatives aux résultats obtenus par les étudiants aux tests 2D et 3D, nous avons comparé globalement leurs résultats finaux, donnés en % (Figure 20).

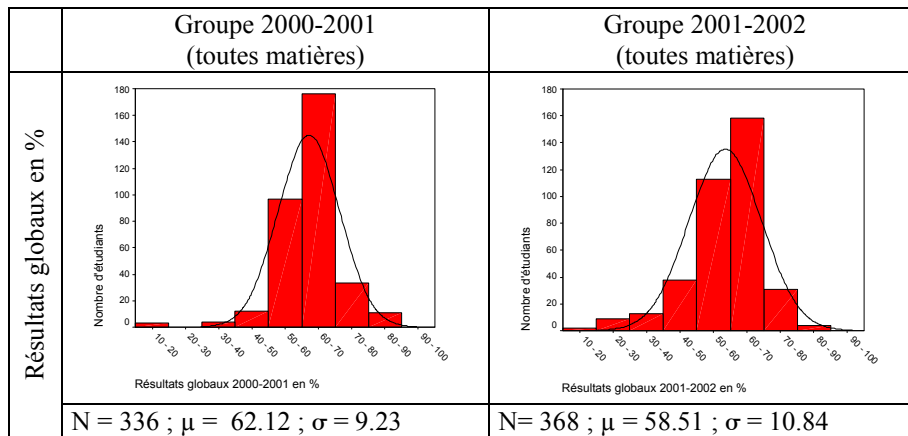


Figure 20 : Histogrammes des résultats globaux des deux groupes 2000-2001 et 2001-2002

Le test de comparaison des moyennes de Mann-Whitney ($U=49560$, $p=0.000$) nous indique une moyenne significativement supérieure pour les étudiants du groupe 2000-2001.

Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que les étudiants du groupe 2000-2001 sont les premiers à vivre la réforme pédagogique facultaire. Nous pouvons raisonnablement penser que les enseignants ont été plus indulgents, la première année, quant aux exigences attendues. Pour assurer une comparaison plus indépendante, il aurait été intéressant d'effectuer les mêmes tests de moyenne sur les résultats des étudiants à l'examen d'admission aux études. En effet, dans ces résultats ne sont inclus, ni les effets de la réforme, ni les résultats du cours de DAO. Malheureusement, pour des raisons pratiques, il nous a été impossible d'obtenir ces informations pour l'année 2000.

Mais revenons plus précisément à l'observation du cours de DAO.

7.3 Impact du tutorat

Rappelons que pour le groupe 2000-2001, l'encadrement des étudiants était principalement basé sur du monitorat, alors que le groupe 2001-2002 a bénéficié d'un encadrement de type tutorat (voir page 182). La Figure 21 rassemble les statistiques descriptives des deux groupes pour ces deux tests.

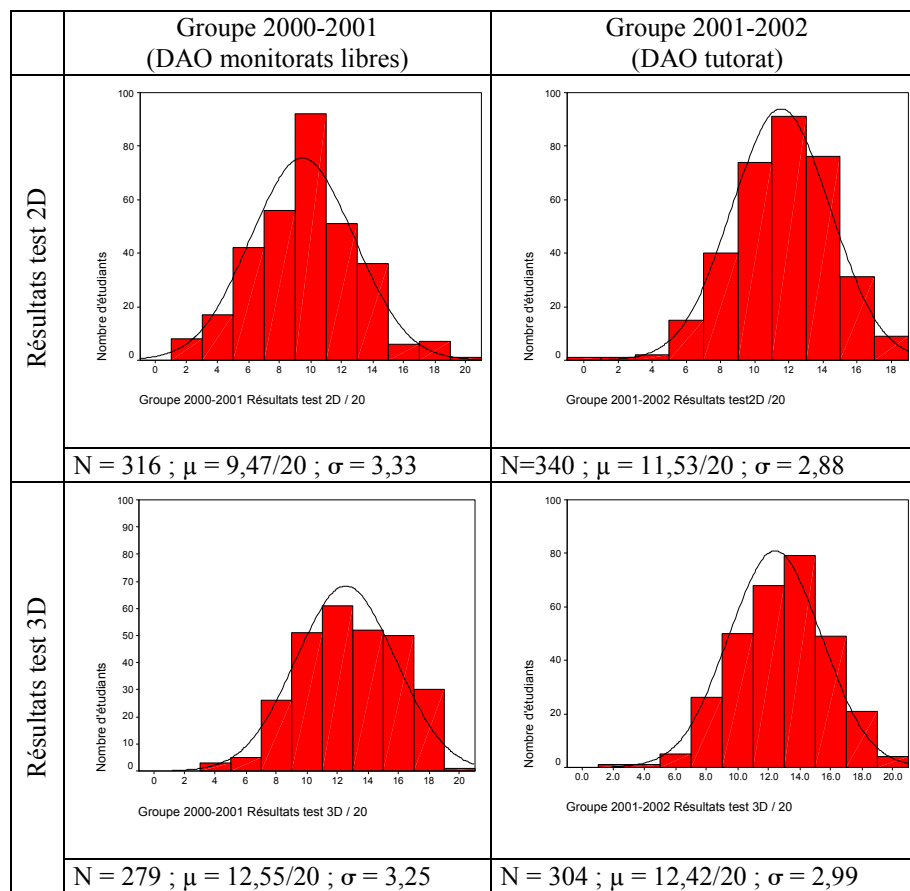


Figure 21 : Histogrammes des tests 2D et 3D pour les deux groupes

Une comparaison des résultats obtenus aux tests par les étudiants en 2000-2001 et ceux obtenus en 2001-2002 nous intéresse tout particulièrement. Cette étude peut nous donner une indication de l'impact du tutorat, par rapport à un monitorat facultatif, sur les performances des étudiants.

7.3.1 Effets observés sur le test 2D

D'après les histogrammes ci-dessus et les moyennes calculées, il semble que la moyenne des résultats du test 2D, pour les étudiants de 2001-2002 soit supérieure aux résultats du test 2D obtenus l'année 2000-2001. Qu'en est-il réellement ?

Selon la statistique de Mann-Whitney ($U=33323$; $p=0.000$), nous pouvons admettre que la moyenne obtenue par les étudiants du groupe 2001-2002 est effectivement supérieure à la moyenne des étudiants du groupe 2000-2001, pour le test 2D. Or, le cours était identique et les projets de difficulté semblable. Mais la manière d'encadrer les étudiants y était très différente. Nous formulons, à ce propos, quelques remarques :

- En 2000-2001, les heures passées en salle par l'enseignant, en vue d'aider les étudiants n'ont pas été mises à profit par ceux-ci. Très peu d'étudiants se sont déplacés pour venir poser leurs questions (aucun étudiant à certains monitorats jusqu'à maximum 4 ou 5, la semaine qui précédait le test). Peut-être pouvons-nous aussi nous interroger sur la difficulté à "savoir que l'on ne sait pas" et donc à venir poser des questions.
- En revanche, nous avons pu observer pléthore de questions (entre 5 et 10 questions par passage) dans le cas du tutorat mis en place en 2001-2002. L'enseignant interpelle davantage les étudiants qui se voient, d'une part, aidés dans leurs problèmes mais aussi, d'autre part, incités à travailler.
- Dans le cas du tutorat en groupes, les étudiants n'ont pas nécessairement préparé leur liste de questions à poser à l'enseignant, lors de son passage dans le local. Mais nous observons dans la majorité des cas que, s'ils déclarent, a priori, ne rencontrer aucun problème, ils les sous-estiment ou les ignorent. Car lorsque une question est posée par un premier étudiant, elle éveille chez les autres une réflexion rapide et surtout d'autres questions. Ces étudiants prennent alors conscience de ce qu'ils avaient mal ou pas du tout compris. Ils savent "ce qu'ils ne savent pas" et c'est probablement un premier pas positif pour en entamer l'apprentissage.

- Dans le cas d'un monitorat libre, plus passif, l'enseignant répond au cas par cas, à un seul étudiant venu le solliciter. Dans le cas du tutorat, au contraire, l'enseignant a la possibilité d'intervenir pour plusieurs étudiants en même temps, y compris pour ceux qui n'ont pas encore rencontré le problème soulevé. Un plus grand nombre d'étudiants peuvent donc bénéficier des interventions de l'enseignant.

7.3.2 Effets observés sur le test 3D

Si la différence est nette en 2D, elle semble moins perceptible en 3D, à l'observation des moyennes calculées. En effet, sur base du test de Mann-Whitney ($U = 41767$; $p = 0.376$), nous ne pouvons rejeter l'hypothèse H_0 , selon laquelle les moyennes des résultats au test 3D des deux groupes sont égales. Nous n'observons donc pas de différence significative entre ces moyennes et nous ne pouvons, dans ce cas, conclure à une amélioration significative des résultats, en fonction d'un dispositif davantage tourné vers le tutorat. Ceci peut éventuellement s'expliquer par plusieurs points :

- L'apprentissage du 3D n'est plus, pour les étudiants, la première approche du DAO. Une première petite expérience s'est installée, tant au niveau des contenus que de la manière de trouver de l'aide en cas de problème. L'impact du tutorat serait alors diminué.
- Au niveau de l'animation, nous observons deux comportements "duals". Les étudiants sont amenés à imaginer un modèle idéal pour leur système multicorps. Pour valider leurs choix, il leur est conseillé d'utiliser l'outil *ANIMATION*, qui permet de visualiser assez rapidement la faisabilité de leur modèle, du point de vue de ses mouvements. Dans la note méthodologique, nous proposons donc aux étudiants de réaliser des corps élémentaires (un parallélépipède pour un châssis de quad, un cylindre pour le corps du pilote, etc.) afin d'accélérer la simulation. Mais très vite, et en général motivés par le sujet, les étudiants préfèrent représenter des corps réalistes et complexes, souvent d'ailleurs à la limite des possibilités du système. Ceci a deux effets : l'un étant de perdre un temps précieux en temps-calcul du logiciel pour générer une animation qui, somme toute, sera peut-être à recommencer, si le modèle n'est pas correct; l'autre, en revanche, étant de donner une bonne occasion aux étudiants de s'entraîner à dessiner, en trois dimensions, des corps dont ils ont directement besoin dans le cadre de leur projet, et leur assurer ainsi une certaine expérience qui pourrait expliquer les bons résultats obtenus au test 3D.

- Les projets multidisciplinaires proposés ont massivement fait appel au dessin 3D, pour dessiner les modèles imaginés, mais aussi pour en assurer la validité. Ceci aurait plusieurs conséquences. La motivation et le temps passé à cette discipline semblent supérieurs à ceux observés lors de l'approche 2D. Sans étude statistique rigoureuse, mais sur base de nos observations, il semble aussi que les étudiants aient tenté de résoudre leurs problèmes au sein de leur groupe de travail, puisque la majorité des questions soulevées étaient orientées vers leur modèle multicorps. Le groupe aurait alors joué son propre rôle de tuteur.
- Enfin, les questions restées sans réponse dans le groupe et posées au tuteur restent des questions majoritairement liées au projet du groupe, plutôt qu'aux exercices proposés. L'intérêt pour le tuteur de s'adresser aux autres étudiants présents, de manière collégiale, était donc plus restreint que lors de l'apprentissage du 2D. Ceci serait davantage lié au choix des projets plus ou moins fédérateurs d'apprentissage du DAO.

7.3.3 Corrélation entre les résultats des tests 2D et 3D pour les deux groupes

Le test de Spearman, effectué sur les résultats des groupes 2000-2001 et 2001-2002 (Spearman's $\rho = 0.312$, $N=279$, $p=0.000$; Spearman's $\rho = 0.399$, $N=300$, $p=0.000$), indique une corrélation significative entre les résultats des tests 2D et 3D. Ceci signifierait que les étudiants qui ont réussi (ou raté) le premier test sont aussi ceux qui réussissent (ou ratent) le second. N'est-ce pas un signe de la complémentarité des outils mis à disposition ? Ceci appuierait un de nos choix de travail, selon lequel le fil conducteur retenu (page 159) a toute son importance dans l'apprentissage. Quelle serait la corrélation si nous avions opté pour l'utilisation de différents logiciels selon les projets, forçant les étudiants à une adaptation spécifique, exigeante en ressource "temps" ?

7.4 Impact du projet sur les résultats globaux

Pour tenter d'analyser l'impact du projet sur les résultats des étudiants, nous n'avons aucun critère "officiel". En effet, la note de projet⁷⁶, attribuée à chaque groupe d'étudiants par un jury composé de quatre enseignants de différentes disciplines, inclut une composante "DAO" qu'il est impossible d'extraire isolément, la note étant attribuée globalement pour la production du groupe. Nous ne pouvons donc

⁷⁶ La note "projet" évalue le produit fini du groupe d'étudiants et non le processus d'apprentissage par projet. Elle est une évaluation globale, incluant plusieurs disciplines : mathématique, physique, informatique, DAO.

effectuer aucune étude précise sur la corrélation entre l'apprentissage du DAO dans le cadre de ce projet et les résultats obtenus aux tests individuels. La seule observation que nous pouvons ajouter est une impression globale. En effet, de visu, nous avons constaté une grande motivation des étudiants pour la réalisation de leurs dessins en trois dimensions, lors du troisième projet (animation d'un système multicorps). Nous expliquons ceci par deux hypothèses (non statistiquement vérifiées). La première est relative au sujet traité. Les étudiants doivent imaginer un véhicule idéal et l'animer (quad, side-car, moto, ...). La plupart d'entre eux se sont documentés auprès de firmes, pour obtenir des caractéristiques réelles d'engins, afin de les représenter le plus fidèlement possible. Au vu de la qualité des dessins fournis, il semble que les étudiants aient beaucoup utilisé le dessin et, de cette manière, acquis une grande expérience en dessin 3D, grâce au projet. La deuxième raison pour laquelle le projet a été bénéfique, à notre avis, est la nécessité de dessiner leur système multicorps, pour valider leur modèle cinématique, à l'aide d'une animation. Dès le début du projet, le dessin a été une nécessité.

Ces deux raisons ne se sont pas retrouvées de manière aussi nette lors du projet de conception de circuit. Les deux années 2000-2001 et 2001-2002, nous avons pu observer statistiquement une nette supériorité des résultats du test 3D, par rapport aux résultats du test 2D.

Notons aussi que depuis les huit années d'observations des résultats des étudiants, ces deux années, basées sur l'apprentissage par projets, voient, pour la première fois, des moyennes aux tests 3D supérieures aux moyennes obtenues aux tests 2D. Ceci serait peut-être à mettre à l'actif de la motivation et du sens qu'apportent les projets dans l'apprentissage.

Enfin, malgré une moyenne globale des résultats⁷⁷ inférieure en 2001-2002 qu'en 2000-2001, nous n'observons, en DAO et pour le test 3D, aucune différence significative de moyennes. De nouveau, nous pouvons peut-être en conclure que le cadre du projet a été un facteur positif dans la réussite de ces tests.

8 Conclusion

L'objet de ce chapitre a été de présenter un dispositif pédagogique favorisant l'apprentissage "autonome" (monitorats libres) et "autonome tutoré" (tutorat) du DAO en première année de formation des ingénieurs.

⁷⁷ Toutes matières confondues.

Globalement, nous avons pu y mettre en évidence l'importance du rôle de tuteur tenu par l'enseignant, puisque les résultats semblent meilleurs lorsque le tutorat est mis en place. L'impact de l'utilisation du projet dans la formation est, lui aussi, un élément important, mis en valeur par l'expérience pédagogique menée ces deux années. Nous y observons une motivation supérieure et des résultats évoluant dans le même sens.

Enfin, nous avons aussi pu imaginer et tester un dispositif pédagogique, permettant une vue élargie du DAO, de ses possibilités simplistes de crayon électronique à la génération d'images de synthèse, et son intégration dans un processus de Conception Assistée par Ordinateur. Cette expérience nous incite à penser que cet apprentissage très large est possible pour des étudiants débutants, dans un laps de temps assez restreint, mais sous certaines conditions relatives :

- à l'autonomie des étudiants, dont il est de la responsabilité de s'investir dans cet apprentissage;
- à la motivation des étudiants à apprendre, aidés pour cela par les projets multidisciplinaires proposés comme cadre de travail;
- à la manière d'encadrer des enseignants, davantage tuteurs;
- aux outils conçus par les enseignants, favorisant l'apprentissage autonome et donnant un cadre de référence, un modèle;
- à des projets qui renvoient les étudiants à des situations professionnelles.